

Patent Number :

DE4417808 A1 19941201 [DE4417808]

Patent Number 2 :

DE4417808 C2 19960725 [DE4417808]

Patent Number 3 :

DE4417808 R3 20010906 [DE4417808]

Title :

(A1) Method for the continuous casting of a metal billet

Other Title :

(A1) Verfahren zum Stranggie en eines Metallstranges

Other Title 2 :

(C2) Verfahren zum Stranggie en eines Metallstranges

Other Title 3 :

(R3) Verfahren zum Stranggie en eines Metallstranges

Patent Assignee :

(A1) VOEST ALPINE IND ANLAGEN (AT)

Patent Assignee 2 :

(C2) VOEST ALPINE IND ANLAGEN (AT)

Patent Assignee 3 :

(R3) VOEST ALPINE IND ANLAGEN (AT)

Application Details :

DE4417808 19940520 [1994DE-4417808]

Priority Details :

AT101193 19930524 [1993AT-0001011]

IPC (issuing Office) :

(A1) B22D-011/22

IPC 2 (Issuing Office) :

(C2) B22D-011/22

IPC 3 (Issuing Office) :

(R3) B22D-011/16 B22D-011/22

EPO Classification(ECLA) :

B22D-011/22A

Document Type :

Basic

Publication Stage :

(A1) Doc. Laid open (First publication)

Publication Stage 2 :

(C2) Patent Specification (Second publication)

Publication Stage 3 :

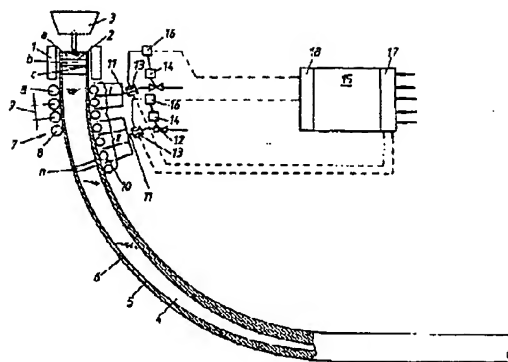
(R3) Revised Patent (Third publ.)

Abstract :

In a method for the continuous casting of a metal billet (6), a billet (6) is pulled out of a cooled continuous casing mould (1) with a liquid core (4) surrounded by a solidified shell (5), supported in a billet-supporting device (7) arranged on the exit side of the continuous casting mould (1) and cooled by means of coolant.

To allow for the thermodynamic changes of state in the billet, thermodynamic changes of state in the entire billet, such as changes in the surface temperature, centre temperature and shell thickness, and also the mechanical state, such as the deformation behaviour etc., are continuously calculated in a mathematical simulation model by solution of the heat conduction equation, and the cooling of the strand is set as a function of the calculated value of at least one of the thermodynamic state variables, the billet thickness, the chemical analysis of the metal and the continuously measured casting rate being taken into account in the simulation (Fig. 1).

<IMAGE>



IMG -



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

Offenlegungsschrift
⑩ DE 44 17 808 A 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
B 22 D 11/22

②1 Aktenzeichen: P 44 17 808.5
②2 Anmeldetag: 20. 5. 94
④3 Offenlegungstag: 1. 12. 94

DE 44 17 808 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
24.05.93 AT 1011/93

⑦1 Anmelder:
Voest-Alpine Industrieanlagenbau GmbH, Linz, AT

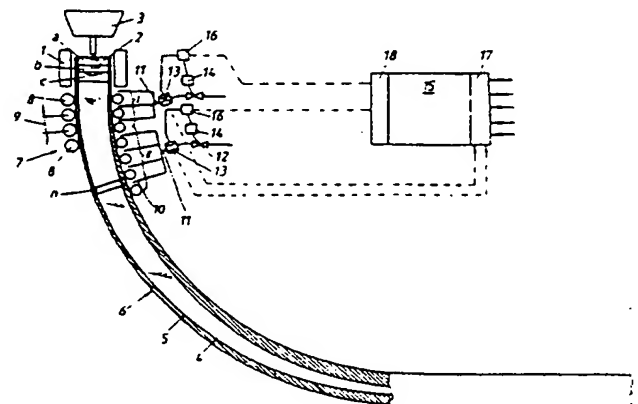
⑦4 Vertreter:
Eitle, W., Dipl.-Ing.; Lehn, W., Dipl.-Ing.; Fuchsle, K.,
Dipl.-Ing.; Hansen, B., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Brauns, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Görg, K.,
Dipl.-Ing.; Kohlmann, K., Dipl.-Ing.; Kolb, H.,
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Ritter und Edler von
Fischern, B., Dipl.-Ing.; Zangs, R., Dipl.-Ing.; Kindler,
M., Dipl.-Chem.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte;
Nette, A., Rechtsanw., 81925 München

⑦2 Erfinder:
Antrag auf Nichtnennung

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zum Stranggießen eines Metallstranges

⑤7 Bei einem Verfahren zum Stranggießen eines Metallstranges (6) wird ein Strang (6) mit von einer Strangschale (5) eingeschlossenem flüssigem Kern (4) aus einer gekühlten Durchlaufkokille (1) ausgezogen und in einer der Durchlaufkokille (1) nachgeordneten Strangstützeinrichtung (7) gestützt und mit Kühlmittel gekühlt.
Zur Berücksichtigung thermodynamischer Zustandsänderungen des Stranges werden thermodynamische Zustandsänderungen des gesamten Stranges, wie Änderungen der Oberflächentemperatur, der Mittentemperatur, der Schalenstärke, und auch der mechanische Zustand, wie das Verformungsverhalten, etc., in einem mathematischen Simulationsmodell durch Lösen der Wärmeleitungsgleichung ständig mitgerechnet und wird die Kühlung des Stranges in Abhängigkeit des errechneten Wertes mindestens einer der thermodynamischen Zustandsgrößen eingestellt, wobei für die Simulation die Strangdicke und die chemische Analyse des Metalls sowie die ständig gemessene Gießgeschwindigkeit berücksichtigt werden (Fig. 1).



DE 44 17 808 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10 94 408 048/488

7/33

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Stranggießen eines Metallstranges, insbesondere eines Stahlstranges, wobei ein Strang mit von einer Strangschale eingeschlossenem flüssigem Kern aus einer gekühlten Durchlaufkokille ausgezogen, in einer der Durchlaufkokille nachgeordneten Strangstutzeinrichtung gestützt und mit Kühlmittel gekühlt wird.

Es ist eine beim Stranggießen bekannte Anforderung, die Kühlung eines kontinuierlich gegossenen Stranges derart einzustellen, daß die Strangoberflächentemperatur vorgegebenen Werten, die gegebenenfalls vom Alter eines Querschnittselementes des Stranges abhängen, möglichst nahekommt. Dies ist insbesondere bei Strangverzögerungen und/oder Strangbeschleunigungen von besonderer Bedeutung.

Aus der AT-B — 300.238 ist ein Verfahren zum Kühlen eines aus einer Durchlaufkokille austretenden Stranges bekannt, wobei die Sollwerte der Kühlwassermenge in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung des Strangmaterials, der Erstarrungszeit und weiters in Abhängigkeit vom augenblicklichen Integralwert der Gießgeschwindigkeit während des Weges des Stranges bis zur jeweiligen Kühlzone eingestellt werden, so daß die Strangoberflächentemperatur vorbestimmbar bleibt.

Weiter ist es aus der DE-C 25 42 290 bekannt, während des Gießens einen bestimmten Temperaturverlauf entsprechend einer optimalen Gießgeschwindigkeit, für welche die Kühlmittelmengen für die Kühlung des Stranges eingestellt werden, vorzugeben und während des Gießens die gemessene wirkliche Gießgeschwindigkeit mit der optimalen Gießgeschwindigkeit zu vergleichen und aus Abweichungen der tatsächlichen Gießgeschwindigkeit von der optimalen Gießgeschwindigkeit eine Nachsteuerung für die Kühlmittelmengen vorzunehmen.

Aus der DE-A — 2 344438 ist es bekannt, während des Gießens durch Integrieren der Geschwindigkeit einzelner Strangabschnitte über die Laufzeit und durch gleichzeitiges Festhalten der von einem Strangabschnitt im Kühlbereich verbrachten Zeit die auf einen einzelnen Abschnitt aufgebrachte Kühlmittelmenge zu ermitteln und mit einer Sollmenge zu vergleichen, auf diese Weise sogenannte "Rest-Kühlmittelmengen" zu bestimmen und aus dieser Bestimmung heraus die Verweilzeit einzelner Strangabschnitte im gesamten Kühlbereich konstant zu halten.

All diese bekannten Verfahren ermöglichen Korrekturen der Kühlmittelmengen, die in erster Linie von der Gießgeschwindigkeit abhängen, also gießgeschwindigkeitsabhängige Regelungen, wobei jedoch die tatsächlichen thermodynamischen Zustandsänderungen des Stranges unberücksichtigt bleiben. Der Stand der Technik berücksichtigt also nur — kommt es zu einem Abweichen der tatsächlichen Gießgeschwindigkeit von der Gießgeschwindigkeit, für die die Strangkühlung eingestellt ist — Tendenzen, ohne jedoch den tatsächlichen Verhältnissen gerecht zu werden.

Die Erfindung bezweckt die Vermeidung dieser Nachteile und Schwierigkeiten und stellt sich die Aufgabe, ein Verfahren der eingangs beschriebenen Art derart weiterzubilden, daß thermodynamische Zustandsänderungen des Stranges mit großer Genauigkeit berücksichtigt werden können, so daß durch solche thermodynamische Zustandsänderungen verursachte Nachteile, die z. B. für Innenrisse oder Kantenrisse verantwortlich sind, zuverlässig vermieden werden können. Insbesondere sollen bei instationären Gießbedingungen die Oberflächentemperaturen nur wenig von den metallurgisch erforderlichen Sollwerten abweichen, d. h. eine Korrektur unmittelbar noch vor Auftreten eines Nachteiles durchführbar sein, wobei Temperaturmessungen am Strang vermeidbar sind.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß thermodynamische Zustandsänderungen des gesamten Stranges, wie Änderungen der Oberflächentemperatur, der Mitten temperatur, der Schalenstärke, und auch der mechanische Zustand, wie das Verformungsverhalten, etc., in einem mathematischen Simulationsmodell durch Lösen der Wärmeleitungsgleichung ständig mitgerechnet werden und die Kühlung des Stranges in Abhängigkeit des errechneten Wertes mindestens einer der thermodynamischen Zustandsgrößen eingestellt wird, wobei für die Simulation die Strangdicke und die chemische Analyse des Metalles sowie die ständig gemessene Gießgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

Dadurch, daß erfindungsgemäß ständig eine echte Simulation der thermodynamischen Zustandsänderungen des Stranges durch Lösen der Wärmeleitungsgleichung erfolgt, läßt sich augenblicklich die Kühlung des Stranges in Abhängigkeit des errechneten Wertes der thermodynamischen Zustandsgrößen korrigieren. Erfindungsgemäß wird also nicht — wie gemäß der DE-C — 25 42 290 — eine gemessene Gießgeschwindigkeit mit einer optimalen Gießgeschwindigkeit verglichen und aus dieser Abweichung eine Steuerung der Kühlung für den Strang durchgeführt, sondern wird aufgrund einer ständig zur Verfügung stehenden Lösung der Wärmeleitungsgleichung, d. h. des augenblicklichen Temperaturfeldes, ein ungenügender oder übermäßiger Wärmetransport sofort transparent und durch Regelung der Kühlmittelmenge verhindert.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird erfindungsgemäß die Kühlung des Stranges in Abhängigkeit von unterschiedlichen Zielfunktionen, wie der Schalenstärke, Oberflächentemperatur, Mitten temperatur, Kantenbereichstemperatur, Energieinhaltoptimierung und Sumpfspitzenposition, die als Führungsgrößen der Regelung der Kühlung nach betrieblichen Anforderungen ausgewählt und gewichtet werden, eingestellt. Hierdurch gelingt es, einzelne Zielfunktionen in den Vordergrund zu rücken oder überhaupt alleine zu berücksichtigen (wenn beispielsweise die anderen Zielfunktionen mit Null gewichtet werden), so daß die tatsächlich für Nachteile verantwortlichen Zielfunktionen — beispielsweise die Kantenbereichstemperatur für kantenrißempfindliche Stähle — optimal berücksichtigt werden können. Selbstverständlich ist auch eine Kombination zweier oder mehrerer unterschiedlicher Zielfunktionen mit jeweils unterschiedlicher Gewichtung zur Berücksichtigung mehrerer Nachteile für den Strang bewirkender Faktoren möglich.

Zweckmäßig werden in Abhängigkeit von betrieblichen Anforderungen Gewichtungsänderungen der Zielfunktionen und/oder Wechsel zwischen den Zielfunktionen unter Einhaltung bestimmter Grenzwerte für die Einstellung der Kühlung des Stranges in automatischer Weise mit Hilfe des Simulationsmodells durchgeführt, so

daß je nach Anforderung an den Strang stets optimale Ergebnisse erzielt werden. Beispielsweise können beim Sequenzgießen von Metallen mit unterschiedlichen Eigenschaften jene Zielfunktionen unmittelbar berücksichtigt werden, die jeweils für die Einhaltung optimaler Strangqualitäten der unterschiedlichen Metalle verantwortlich sind.

Vorteilhaft wird für die Simulation die Strangbreite berücksichtigt, wodurch es möglich ist, den unterschiedlichen Anforderungen für unterschiedliche Strangbreiten gerecht zu werden.

Da die Ausgangsgießtemperatur des Metalles auf sein Erstarrungsverhalten und die nachfolgenden thermodynamischen Zustandsänderungen Einfluß hat, wird vorteilhaft für die Simulation die augenblickliche Temperatur des Metalles beim Eintritt in die Kokille berücksichtigt.

Zur Steigerung der Genauigkeit des Simulationsmodells wird vorzugsweise für die Simulation die auf einzelne Strangquerschnittselemente des Stranges je Zeit- und/oder Wegeinheit seit deren Entstehung in der Kokille bereits eingewirkt habende Kühlmittelmenge und vorzugsweise die auf die einzelnen Strangquerschnittselemente geplant aufzubringende Kühlmittelmenge berücksichtigt sowie zweckmäßig für die Simulation die augenblickliche Kühlmitteltemperatur, die das Kühlmittel vor dem Aufbringen auf den Strang aufweist, berücksichtigt.

Eine weitere Erhöhung der Genauigkeit läßt sich dadurch erzielen, daß zusätzlich für die Simulation die augenblickliche Wärmeabfuhr durch die in der Kokille vorgesehene Kühlung berücksichtigt wird.

Vorzugsweise wird als Führungsgröße der die Kühlung des Stranges berücksichtigenden Zielfunktionen ein in Abhängigkeit von der augenblicklichen Schalenstärke gewählter Sollwert bestimmt, wobei vorzugsweise der Sollwert auch in Abhängigkeit von der augenblicklichen gefahrenen Gießgeschwindigkeit sowie zweckmäßig in Abhängigkeit des augenblicklichen Alters eines Strangquerschnittselementes bestimmt wird.

Zweckmäßig wird zur Festlegung der für den Strang vorgesehenen Kühlmittelmenge die Einstellung der Kühlung mittels einer Fuzzy Logic-Regelung ermittelt.

Die Erfindung ist nachfolgend anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels einer Stahlstranggießanlage näher erläutert, wobei Fig. 1 diese Stranggießanlage in schematischer Seitenansicht veranschaulicht. Fig. 2 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur, Schalenstärke und Kühlmittelmenge bei Änderung der Gießgeschwindigkeit.

Eine gekühlte Stranggießkokille, die mit 1 bezeichnet ist, wird mit flüssigem Stahl 2, der aus einem Zwischengefaß 3 zugeführt wird, gespeist. Der sich in der Kokille 1 bildende, einen flüssigen Kern 4 und zunächst nur eine dünne Strangschale 5 aufweisende Strang 6 wird über eine bogenförmig ausgebildete Strangstützeinrichtung 7, die mit eng benachbarten Stützrollen 8 versehen ist, in die Horizontale umgeleitet, wo er nach Durcherstarrung in Strangstücke vorbestimmter Länge unterteilt wird. Vorzugsweise sind die Stützrollen 8 knapp unterhalb der Kokille 1 in engeren Abständen angeordnet als an dem in Strangausziehrichtung liegenden Ende der Strangstützeinrichtung 7.

Der Abstand 9 von Achse zu Achse der Stützrollen 8, d. h. die Rollenteilung, kann kontinuierlich von der Kokille 1 bis zum Ende der Strangstützeinrichtung 7 zunehmen oder auch zonenweise abgestuft zunehmen.

Zur Kühlung des Stranges 6 sind entlang der Strangstützeinrichtung 7 Kühlmittel zuführende Düsen 10 vorgesehen, von denen in der Zeichnung nur solche an der Strangoberseite am Beginn der Strangstützeinrichtung 7 eingezeichnet sind. Jeweils mehrere Düsen 10 sind an eine gemeinsame Zuleitung 11 angeschlossen, wodurch die gemeinsam versorgten Düsen jeweils eine Kühlzone I, II ... bilden, entlang der der Strang 6 aus jeder dieser Düsen 10 mit gleicher Kühlmittelmenge versorgt wird.

In den Kühlmittelzuführleitungen 11 eingebaut ist jeweils ein Stellventil 12, dem eine Durchflußmeßeinrichtung 13 nachgeordnet ist. Jedes Stellventil 12 ist über ein Stellglied 14 verstellbar, das über einen von einem zentralen Prozeßrechner 15 angesteuerten Regler 16 betätigbar ist. Von jeder Durchflußmeßeinrichtung 13 erfolgt über eine Koppelung zum Prozeßrechner 15 eine Eingabe an diesen über eine Eingabeeinheit 17 desselben. Alle Regler 16 stehen über eine Ausgabeeinheit 18 mit dem Prozeßrechner 15 in Verbindung und werden von diesen angesteuert.

In die Eingabeeinheit 17 des Prozeßrechners 15 können noch Werte der chemischen Zusammensetzung des zu vergießenden Metalls, im vorliegenden Fall des Stahls 2, eingegeben werden. Weiters werden hier noch Werte der ortsabhängigen Rollenteilung und Werte des ortsabhängigen ferrostatischen Druckes (unter Berücksichtigung der Dichte des zu vergießenden Metalles) eingegeben. Weiters können die Strangdicke, die Strangbreite, die Sollgießgeschwindigkeit und weitere Werte der Anlagengeometrie in die Eingabeeinheit 17 eingegeben werden.

Der Prozeßrechner 15 errechnet die orts- und zeitabhängige Schalenstärke, wobei gemäß einem vereinfachten Modell die Schalenstärke nach der näherungsweise Formel $s = k \cdot \sqrt{t}$ errechnet werden kann, wobei s die Schalenstärke und t das Strangalter an einer bestimmten Stelle des Stranges 6 und k einen konstanten Faktor darstellen. Nimmt man diese Formel zur Berechnung der Schalenstärke zu Hilfe, ergibt sich eine Abhängigkeit der Schalenstärke eines einzelnen Strangquerschnittselementes a, b, \dots, n alleine von der Zeit, die das jeweilige Strangquerschnittselement a, b, \dots, n von seinem Entstehen in der Kokille 1 bis zu der Stelle, an der es augenblicklich gekühlt werden soll, benötigt hat. Unter Zugrundelegung dieser Vereinfachung wird anstelle der Schalenstärke nur die Zeit, die eines von gedachten Strangquerschnittselementen a, b, \dots, n vom Austritt aus der Kokille 1 bis zur entsprechenden Stelle an der Strangstützeinrichtung 7 benötigt, berücksichtigt.

Erfindungsgemäß erfolgt die Kühlung des Stranges 6 an einer bestimmten Stelle der Strangstützeinrichtung 7 unter Berücksichtigung thermodynamischer Zustandsänderungen des gesamten Stranges, d. h. dessen einzelner Strangquerschnittselemente a, b, \dots, n , durch Lösen der Wärmeleitungsgleichung mit Hilfe des Prozeßrechners 15, der vorteilhaft für jedes der Strangquerschnittselemente a, b, \dots, n die Wärmeleitungsgleichung ständig löst. Hierbei können berücksichtigt werden: die Oberflächentemperatur, die Mittentemperatur, die Schalenstärke sowie weiters der mechanische Zustand des gesamten Stranges, wie dessen Verformungsverhalten etc..

Die Wärmeleitungsgleichung (stationär, nicht linear und zweidimensional) lautet für jedes Strangquer-

schnittselement a, ..., n, ... wie folgt

$$\rho \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right)$$

Hierin bedeuten

T die Temperatur,

h die spezifische Enthalpie: $dh = C_p(T)dT$,

k(T) die Wärmeleitfähigkeit,

p die Dichte und

$$\frac{\partial}{\partial t}, \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}$$

partielle Ableitungen nach der Zeit und nach dem Ort, wobei

"x" und "y" die in einer senkrecht zur Stranglängsachse gerichteten Ebene liegenden Koordinaten von Strangelementen sind.

Die Regelung der Kühlung des Stranges erfolgt in Abhängigkeit des vom Prozeßrechner 15 errechneten Wertes mindestens einer der thermodynamischen Zustandsgrößen, wobei die in die Eingabeeinheit 17 des Prozeßrechners 15 eingegebenen Werte, beispielsweise für die Strangdicke, die Strangbreite, die chemische Analyse des zu vergießenden Stahles sowie die ständig gemessene Gießgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

Die instantäre Wärmeleitungsgleichung ist eine parabolische, partielle Differentialgleichung, die mit Standardmethoden der numerischen Mathematik, wie z. B. Finite Differenzenverfahren oder Finite Elemente Methoden gelöst werden kann (siehe z. B. H. Schuh: "Differenzenverfahren zum Berechnen von Temperatur-Ausgleichsvorgängen bei eindimensionaler Wärmeströmung in einfachen und zusammengesetzten Körpern", VDI-Forschungsheft 459, VDI-Verlag Düsseldorf 1957).

Nachfolgend ist zum besseren Verständnis eine Vorgangsweise zur Lösung als Beispiel skizziert, die für den Fachmann zwar nicht die schnellste, jedoch eine einfache Methode zur Lösung der Wärmeleitungsgleichung darstellt. Es ist das das Finite Differenzen Verfahren mit Lagrangescher Beschreibungsweise.

Lagrangesche Beschreibung heißt: Jedes Strangquerschnittselement wird von der Entstehung in der Kokille bis zum Maschinenende von einem mitfahrenden Beobachter betrachtet. Für jedes Element ist daher die einfache, im mit v_g (= Gießgeschwindigkeit) bewegten, elementfesten Koordinatensystem (z. B. x: Koordinate in Strangdickenrichtung, y = Koordinate in Strangbreitenrichtung) beschriebene zweidimensionale Wärmeleitungsgleichung zu lösen (die Wärmeleitung in z-Richtung (Gießrichtung bzw. Richtung der Stranglängsachse) wurde dabei vernachlässigt, weil sie sehr klein ist). Dies führt man für eine Vielzahl von Elementen periodisch durch und erhält somit das zeitveränderliche Temperaturfeld des gesamten Stranges.

Man benötigt zur Lösung der Gleichung die Stoffeigenschaften k (Wärmeleitfähigkeit) und p (Dichte) sowie die Zustandsgleichung $dh = C_p dT$, welche in die Wärmeleitungsgleichung einzusetzen ist (erst dadurch ergibt sich die Differentialgleichung für die Temperatur T):

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right).$$

Auch die spezifische Wärmekapazität C_p ist eine Stoffeigenschaft, die bekannt ist.

Die Differentialgleichung kann allerdings nur gemeinsam mit einer Anfangsbedingung für das Temperaturfeld im Element (z. B. T = Verteilertemperatur im gesamten Querschnitt am Gießspiegel der Kokille) und den (zufolge der Elementreise durch die Kokille sowie durch verschiedene Kühlzonen) zeitveränderlichen Randbedingungen an der Elementoberfläche gelöst werden. Die Randbedingung lautet allgemein

$$k \frac{\partial T}{\partial n} / \text{Oberfläche} = \alpha (T_{\text{Oberfl.}} - T_{\text{Umgebung}}) + \sigma \epsilon (T_{\text{Oberfl.}}^4 - T_{\text{Umgebung}}^4)$$

Temperaturgradient

Strahlungswärmeaustausch

normal zur Oberfläche

konvektiver

Wärmeübergang

α ... Wärmeübergangskoeffizient

σ ... Stefan-Boltzmann-Konstante

ϵ ... Strahlungsemissionsvermögen (der Oberfläche)

Diese Randbedingung heißt Randbedingung 3. Art und ihre Zeitveränderlichkeit liegt vor allem in $T_{\text{Oberfl.}}(t)$ und

$\alpha(t)$.

Anhand der Fig. 2 ist nachfolgend die Regelung auf "Schalenstärke", sowie nach Änderung der Zielfunktion die Regelung auf "Oberflächentemperatur" näher erläutert. In dem Diagramm der Fig. 2 zeigt die Linie I die gefahrene Gießgeschwindigkeit an, die zum Zwecke der Demonstration, beispielsweise eines Pfannenwechsels, von der optimalen Gießgeschwindigkeit, die z. B. bei 1,6 m/min liegt, auf 0,8 m/min abgesenkt wird. Die Linie II gibt die durch den Prozeßbrechner 15 errechnete Oberflächentemperatur des Stranges in einer Kühlzone, die sich etwa 2,5 m unter dem Gießspiegel befindet, und die Linie III die vom Prozeßbrechner 15 errechnete Schalenstärke wieder, u.zw. ebenfalls etwa 2,5 m unterhalb des Gießspiegels. Linie IV gibt die vom Prozeßbrechner 15 errechnete Kühlmittelmenge an, die dann über die Regler 16 über die Stellglieder 14 eingestellt wird.

In den ersten zehn Minuten des Diagrammes Fig. 2 wird auf "Schalenstärke" geregelt, d. h. daß als Zielfunktion die Schalenstärke, die mit "1" gewichtet ist, ausgewählt ist, und alle anderen Zielfunktionen, wie Oberflächentemperatur, Mittentemperatur, Kantenbereichstemperatur, Energieinhaltoptimierung oder Sumpfspitzenposition, mit Null gewichtet sind.

Nach Ablauf von zehn Minuten wird ein Zielfunktionswechsel durchgeführt, d. h. es ist als neue Zielfunktion die Oberflächentemperatur herangezogen und mit 1 gewichtet, wogegen alle anderen Zielfunktionen mit Null gewichtet sind.

Aus Fig. 2 ist zu erkennen, daß es vom Beginn der beiden Gießgeschwindigkeitsreduktionen an zu einem Schalenstärkenwachstum kommt. Dieses Wachstum dauert so lange an, bis die abgesenkte Gießgeschwindigkeit (0,8 m/min) wiederum erhöht wird; mit der Erhöhung der Gießgeschwindigkeit beginnt die Schalenstärke wiederum zu schrumpfen, u.zw. auf den ursprünglichen Wert von 30 mm. Mit Beginn des Schalenwachstums wird entsprechend den vom Prozeßbrechner errechneten Werten die Kühlmittelmenge reduziert, u.zw. so lange, bis wiederum eine Reduktion der Schalenstärke stattfindet.

Durch das Schalenwachstum kommt es (bei Auswahl der Zielfunktion Schalenstärke) zunächst zu einem Absinken der Oberflächentemperatur und anschließend zu einer beträchtlichen Steigerung derselben, nämlich bis etwa 995°C. Ganz anders ist der Verlauf der Oberflächentemperatur, wenn mit der Zielfunktion "Oberflächentemperatur" gearbeitet wird, also in den Minuten 10 bis 20 gemäß Diagramm Fig. 2. Es ist deutlich erkennbar, daß die Oberflächentemperatur in etwa konstant bleibt, obwohl es zu einem Wachstum der Schalenstärke beim Absinken der Gießgeschwindigkeit kommt. Erst beim Anheben der Gießgeschwindigkeit auf den ursprünglichen Wert von 1,6 m/min kommt es zu einem "Überschwingen" der Oberflächentemperatur, welches jedoch nur geringfügig ist. Schon kurze Zeit nach Erreichen der ursprünglichen Gießgeschwindigkeit stellt sich wiederum die gewünschte Oberflächentemperatur ein.

Bei der Umstellung der Zielfunktionen wird kurzfristig eine erhöhte Kühlmittelmenge erforderlich, um die gewünschte Oberflächentemperatur von etwa 970°C zu erreichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Stranggießen eines Metallstranges, insbesondere eines Stahlstranges (6), wobei ein Strang (6) mit von einer Strangschale (5) eingeschlossenem flüssigem Kern (4) aus einer gekühlten Durchlaufkokille (1) ausgezogen, in einer der Durchlaufkokille (1) nachgeordneten Strangstützeinrichtung (7) gestützt und mit Kühlmittel gekühlt wird, dadurch gekennzeichnet, daß thermodynamische Zustandsänderungen des gesamten Stranges (6), wie Änderungen der Oberflächentemperatur, der Mittentemperatur, der Schalenstärke, und auch der mechanische Zustand, wie das Verformungsverhalten, etc., in einem mathematischen Simulationsmodell durch Lösen der Wärmeleitungsgleichung ständig mitgerechnet werden und die Kühlung des Stranges (6) in Abhängigkeit des errechneten Wertes mindestens einer der thermodynamischen Zustandsgrößen eingestellt wird, wobei für die Simulation die Strangdicke und die chemische Analyse des Metalles sowie die ständig gemessene Gießgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung des Stranges (6) in Abhängigkeit von unterschiedlichen Zielfunktionen, wie der Schalenstärke, Oberflächentemperatur, Mittentemperatur, Kantenbereichstemperatur, Energieinhaltoptimierung und Sumpfspitzenposition, die als Führungsgrößen der Regelung der Kühlung nach betrieblichen Anforderungen ausgewählt und gewichtet werden, eingestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß in Abhängigkeit von betrieblichen Anforderungen Gewichtsänderungen der Zielfunktionen und/oder Wechsel zwischen den Zielfunktionen unter Einhaltung bestimmter Grenzwerte für die Einstellung der Kühlung des Stranges (6) in automatischer Weise mit Hilfe des Simulationsmodells durchgeführt werden.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß für die Simulation die Strangbreite berücksichtigt wird.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß für die Simulation die augenblickliche Temperatur des Metalles beim Eintritt in die Kokille (1) berücksichtigt wird.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß für die Simulation die auf einzelne Strangquerschnittselemente des Stranges je Zeit- und/oder Wegeinheit seit deren Entstehung in der Kokille bereits eingewirkt habende Kühlmittelmenge und vorzugsweise die auf die einzelnen Strangquerschnittselemente (a, b, ..., n) geplant aufzubringende Kühlmittelmenge berücksichtigt wird.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß für die Simulation die augenblickliche Kühlmitteltemperatur, die das Kühlmittel vor dem Aufbringen auf den Strang (6) aufweist, berücksichtigt wird.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß für die

Simulation die augenblickliche Strangabfuhr durch die in der Kokille (1) vorgesehene Kühlung berücksichtigt wird.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Sollwert der die Kühlung des Stranges (6) berücksichtigten Zielfunktionen in Abhängigkeit von der augenblicklichen Schalenstärke gewählt wird.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein Sollwert der die Kühlung des Stranges (6) berücksichtigten Zielfunktionen in Abhängigkeit von der augenblicklich gefahrenen Gießgeschwindigkeit gewählt wird.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Sollwert der die Kühlung des Stranges (6) berücksichtigten Zielfunktionen in Abhängigkeit des augenblicklichen Alters eines Strangquerschnittselementes (a, b, ..., n) gewählt wird.

12. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß zur Festlegung der für den Strang vorgesehenen Kühlmittelmenge die Einstellung der Kühlung mittels einer Fuzzy Logic-Regelung ermittelt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

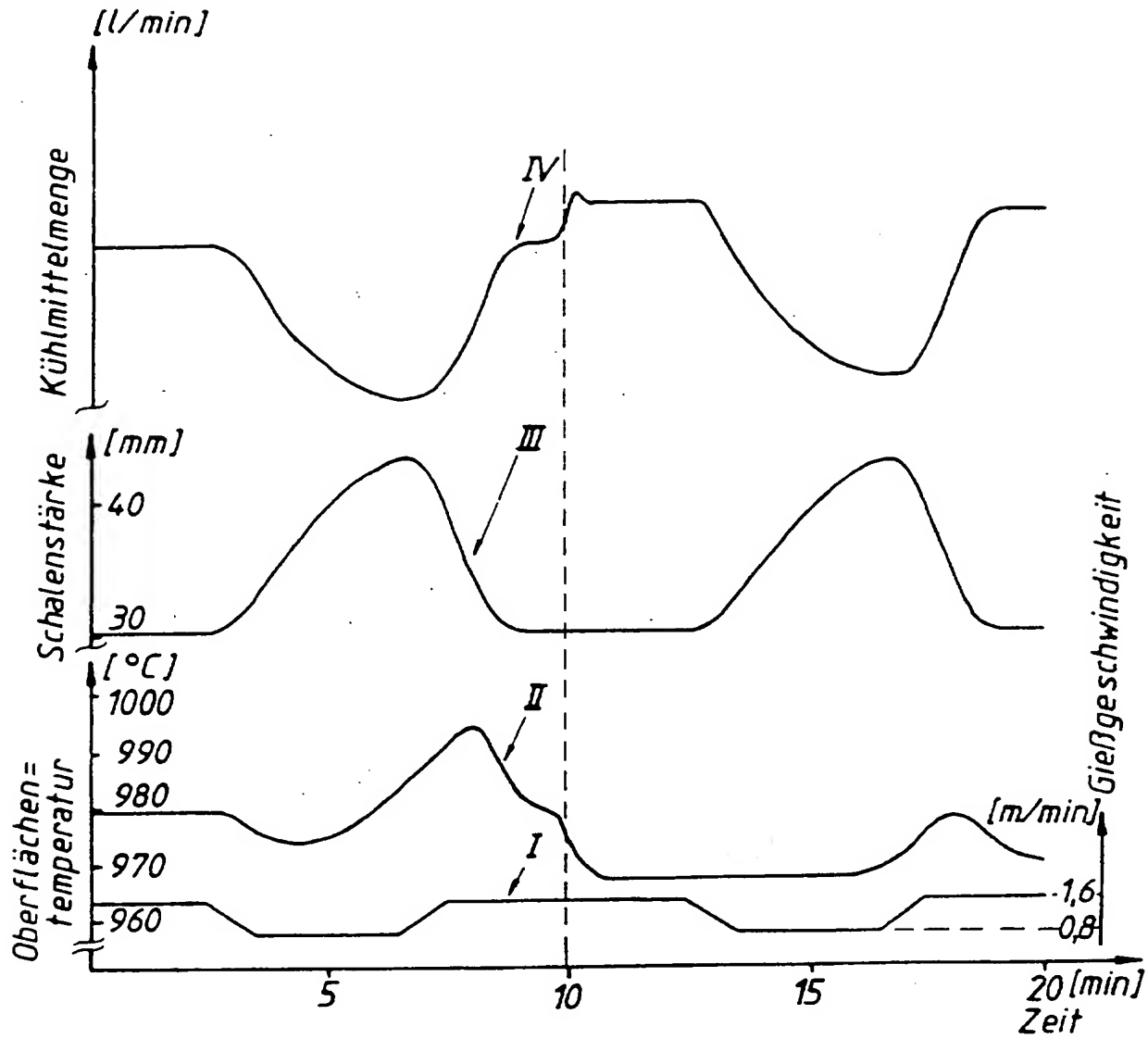


FIG. 2

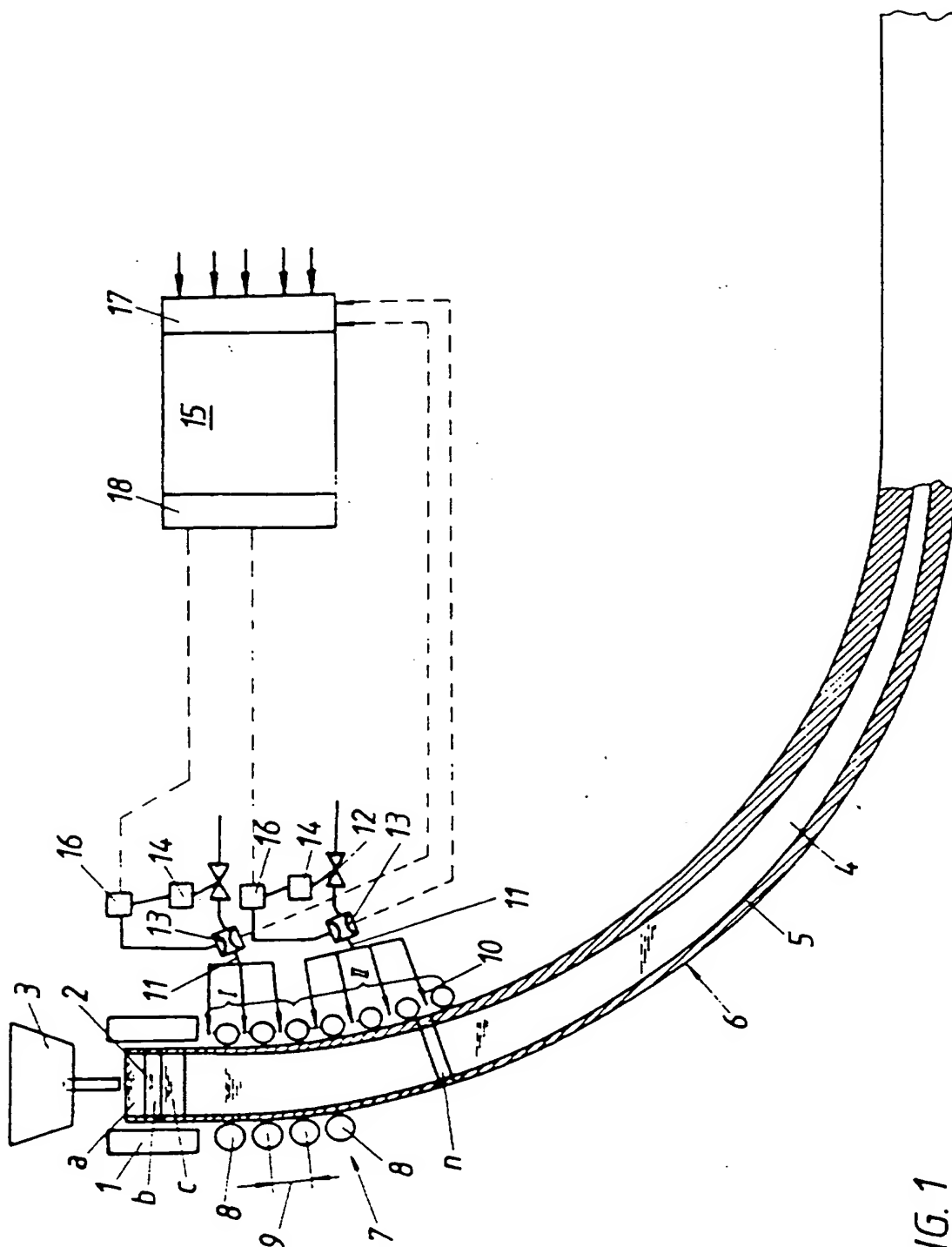


FIG. 1